



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 47 314 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 100 47 314.8
㉑ Anmeldetag: 25. 9. 2000
㉒ Offenlegungstag: 5. 4. 2001

⑤① Int. Cl.⁷:
G 06 T 17/00
A 61 M 25/095
A 61 B 5/055
A 61 B 6/00
A 61 B 8/00
A 61 K 49/18

DE 100 47 314 A 1

③① Unionspriorität:
09/408,930 30. 09. 1999 US
⑦① Anmelder:
Siemens Corporate Research, Inc., Princeton, N.J.,
US
⑦④ Vertreter:
Patentanwälte Westphal, Mussnug & Partner,
78048 Villingen-Schwenningen

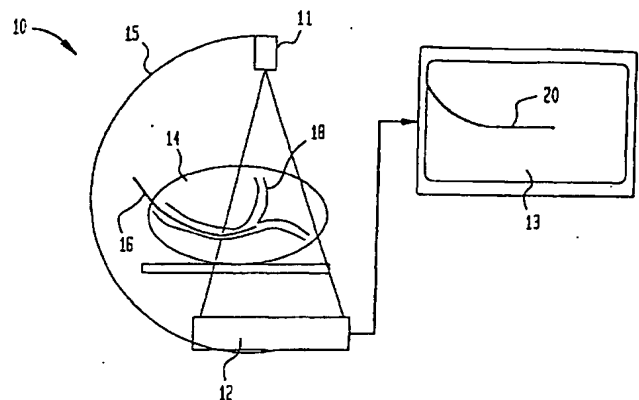
⑦② Erfinder:
Geiger, Bernhard, Plainsboro, N.J., US; Navab,
Nassir, East Windsor, N.J., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für erweiterte Angioskopie

⑤⑦ Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil für die Angioskopie, bei welchem Daten aus einem 3-D-Modell unter Verwendung beispielsweise eines Magnetresonanzbildes, computerisierter Tomographie (CT) und 3-D-Angio abgeleitet werden. Die Daten werden segmentiert, um ein segmentiertes 3-D-Modell der Blutgefäße zu erhalten. Ein erstes Verfahrensbild wird mit einem vorhandenen Kontrastmittel durchgeführt. Das 3-D-Modell wird sodann mit dem ersten Verfahrensbild registriert und es werden "virtuelle Kameraparamter" erhalten. Das 3-D-Modell wird wiedergegeben und dem zweiten Verfahrensbild ohne Kontrast überlagert, wodurch ein virtueller Kontrast erzielt wird.



DE 100 47 314 A 1

Bei vielen medizinischen Verfahren wird ein Katheter in das Arteriensystem eines Patienten eingeführt und zu einer Zielstelle innerhalb des Körpers geführt, wobei dieses Verfahren im Allgemeinen unter Fluoroskopführung mit Verwendung eines Fluoroskopgeräts mit C-Arm durchgeführt wird. Periodisch nimmt der behandelnde Arzt einen Röntgenschnappschuß, um zu sehen, wo die Spitze des Katheters angeordnet ist, oder im Fall von schwierigen Manipulationen werden diese vom Arzt unter konstanter Fluoroskopabbildung durchgeführt.

Da Blutgefäße im Wesentlichen in einem Röntgenbild nicht sichtbar sind, wird ein Kontrastmittel (CA) durch den Katheter injiziert, wenn der behandelnde Arzt die Stellung des Katheters in Bezug auf die Blutgefäße beobachten muß. Kontrastmittel ist jedoch normalerweise toxisch, und die Gesamtmenge an Kontrastmittel, die in sicherer Weise an einen Patienten abgegeben werden kann, ist gewöhnlich begrenzt. Es wird die Erkenntnis zugrundegelegt, daß ein Verfahren, das die Menge an Kontrastmittel verringern kann, für den Patienten allgemein vorteilhaft ist, da weniger Kontrastmittel weniger Belastung und weniger mögliche Nebenwirkungen auf den Patienten bedeutet und dadurch das Risiko herabgesetzt wird, daß ein Eingriff erfolglos abgebrochen werden muß, weil eine Grenze der CA-Aufnahme erreicht worden ist.

Gemäß einem Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil, welches die folgenden Schritte umfaßt: Erfassen von Daten für ein 3D-Modell aus einem Abbildungsverfahren; Segmentieren der Daten zur Erzielung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße; Erhalten eines ersten Verfahrensbildes des Körperteils unter Benutzung einer Strahlungsquelle und eines Bilddetektors, wobei das Verfahrensbild die Blutgefäße mit Kontrastmittelinjektion umfaßt; Registrieren des segmentierten 3D-Modells mit dem Verfahrensbild und Ableiten von Parametern daraus, die sich auf die Positionen des Körperteils, der Strahlungsquelle, des Bilddetektors und des 3D-Modells beziehen; Erhalten eines zweiten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung der Strahlungsquelle und des Bilddetektors, wobei das zweite Verfahrensbild ohne Kontrastmittelinjektion erhalten wird; und Wiedergeben des 3D-Modells und Überlagern des 3D-Modells über das zweite Verfahrensbild. Das Verfahrensbild ist das während des Eingriffs verwendete Bild.

Gemäß einem weiteren Aspekt umfaßt die Erfindung ein Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 1, bei welchem das Abbildungsverfahren entweder aus magnetischen Resonanzbildern, computerisierter Tomographie (CT) oder 3D-Angio besteht und die Verfahrensbilder entweder aus magnetischer Resonanzabbildung, computerisierter Tomographie (CT), 3D-Angio, Fluoroskopie oder Ultraschallabbildung bestehen.

Gemäß noch einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil, welches die folgenden Schritte umfaßt: Erfassen von Daten für ein 3D-Modell aus einem Bildverfahren; Segmentieren der Daten zur Erzielung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße; Erhalten eines ersten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung einer Strahlungsquelle und eines Bilddetektors, wobei das erste Verfahrensbild die Blutgefäße mit Kontrastmittelinjektion enthält; Registrieren des segmentierten 3D-Modells mit dem Verfahrensbild, und Ableiten von Parametern daraus, die sich auf die Positionen des Körperteils, der Strahlungsquelle, des Bilddetektors und des 3D-Modells be-

ziehen, durch Vergleichen des ersten Verfahrensbildes mit einer Anzahl von vorberechneten Projektionen des 3D-Modells; Erhalten eines zweiten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung der Strahlungsquelle und des Bilddetektors, wobei das zweite Verfahrensbild ohne Kontrastmittelinjektion erhalten wird; Wiedergeben des 3D-Modells durch Auffinden einer Katheterspitze in dem zweiten Verfahrensbild, indem ein Untersatz (subset) des segmentierten 3D-Modells einschließlich der Katheterspitze und strömungsabwärts gelegener Blutgefäße wiedergegeben wird; und Überlagern des 3D-Modells mit dem zweiten Verfahrensbild unter Verwendung eines visuellen Kontrastes.

Gemäß noch einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil für Angioskopie, welches umfaßt: Ableiten von Daten aus einem 3D-Modell unter Verwendung von magnetischer Resonanzabbildung, computerisierter Tomographie (CT) oder 3D-Angio; Segmentieren der Daten zur Erzeugung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße; Erzeugen eines ersten Verfahrensbildes mit einem vorhandenen Kontrastmittel; Registrieren des 3D-Modells mit dem ersten Verfahrensbild und dadurch Erzielen von "virtuellen Kameraparametern"; Wiedergeben des 3D-Modells; und Überlagern des wiedergegebenen 3D-Modells mit einem zweiten Verfahrensbild ohne Kontrast, wodurch ein virtueller Kontrast erzielt wird.

Ein Ziel der Erfindung ist die Verringerung der Menge an Kontrastmittel während eines Eingriffs mit Verwendung eines Katheters innerhalb des Arterienbaumes.

Die Erfindung wird verständlicher aus der ausführlichen Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen in Verbindung mit den Zeichnungen. Es zeigt:

Fig. 1 in schematischer Form eine Anordnung gemäß einem Aspekt der Erfindung;

Fig. 2 in schematischer Form die Verwendung eines Kontrastmittels;

Fig. 3 die Verwendung eines 3D-Modells gemäß einem Aspekt der Erfindung ohne Verwendung eines realen Kontrastmittels;

Fig. 4 die Verwendung eines virtuellen Kontrastes gemäß einem Aspekt der Erfindung;

Fig. 5 ein Blockschaltbild von Komponenten gemäß den Grundlagen der Erfindung; und

Fig. 6 ein Ablaufdiagramm, das zum Verständnis der Erfindung hilfreich ist.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird vor dem Eingriff eine 3D-Rekonstruktion des Arterienbaums berechnet. Dies kann aufgrund einer computerisierten tomographischen (CT)-Erfassung oder aufgrund einer magnetischen Resonanzabbildung (MRI) oder aus 3D-Angio aus bekannten anderen Zusammenhängen erfolgen. Siehe beispielsweise N. Navab et al., "3D reconstruction from projection matrices in a C-arm based 3d-angiography system", erschienen in First International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), Seiten 1305-1306, Cambridge, MA; 1998.

Eine Online-Registrierung der 3D-Rekonstruktion mit einem fluoroskopischen Bild oder Bildern und dem Katheter wird während des Eingriffs durchgeführt. Ein 2D-Injektionsbild mit virtuellem Kontrast wird aus der 3D-Rekonstruktion berechnet und wird sodann dem fluoroskopischen Bild derart beigefügt, daß die Wirkung einer Kontrastinjektion imitiert wird. Der Arzt sieht das fluoroskopische Bild, welches den Katheter zeigt, und die Blutgefäße werden von 3D-Modell eingeblendet, was zu einer Injektion mit virtuellem Kontrast führt.

In der Praxis kann gemäß einem Aspekt der Erfindung der Arzt entscheiden, ob er die Injektion mit reellem Kontrast

oder die Injektion mit virtuellem Kontrast aktiviert. Ge-
eigentlich ist es erforderlich, die Injektion mit reellem Kon-
trast zu benutzen, um die Registrierung zu aktualisieren.
Beispielsweise könnte eine von zwei oder zwei von drei In-
jektionen durch eine virtuelle Injektion ersetzt werden, wel-
che nicht von der Belästigung für den Patienten bei einer
Kontrastinjektion begleitet wird.

Es gibt einige Vorteile für ein solches Verfahren gemäß
der Erfindung. Zu diesen gehört die Tatsache, daß die erforder-
liche Menge von zu verabreichendem Kontrastmittel ver-
ringert wird. Der Arzt wendet das Verfahren in einer ge-
wohnten und bekannten Weise an, so daß beim Beobachten
der fluoroskopischen Darstellung der Arzt die Bilder in der
üblichen Weise sieht. Das erfindungsgemäße System wird in
die klinische Routine nahtlos integriert, und der Arzt kann
zwischen virtuellem und reellem Kontrast umschalten. Vir-
tueller Kontrast kann auf Abschnitte angewendet werden,
die weniger kritisch sind, während reeller Kontrast für die
Anwendung bei Teilen gewählt wird, bei denen sich der Arzt
nicht auf die Registrierung verlassen möchte. Ferner kann
gemäß einem Aspekt der Erfindung der Arzt eine volle 3-di-
mensionale Darstellung auf einem zusätzlichen Schirm zu
dem bereicherten fluoroskopischen Bild hinzu haben.

Fig. 1 zeigt in schematischer Form eine Röntgenstrahlen-
vorrichtung oder ein Fluoroskop **10** mit einer Strahlungs-
quelle **11**, einem Detektor **12** und einem Schirm **13** zur Un-
tersuchung des Körpers **14** einer Person. Strahlungsquelle
11 und Detektor **12** sind in einer bekannten Weise an einem
C-Arm **15** angebracht. Ein Katheter **16** wird in ein Blutgefäß
18 des Körpers **14** eingeführt. In bekannter Weise ist der Ka-
theter **16** auf dem Schirm **13** sichtbar, hier als Bildteil **20** auf
dem Schirm **13** bezeichnet, aber das Blutgefäß **18** ist nicht
sichtbar.

Fig. 2 zeigt die Wirkung des Injizierens eines Kontrast-
mittels in den Körper **14**, so daß Blutgefäße rings um die
Spitze des Katheters **16** in dem fluoroskopischen Bild auf
dem Schirm **13** als Bildteile **22** aufscheinen.

Fig. 3 zeigt eine Ausformung gemäß einer Ausführungs-
form der Erfindung mit einem computerisierten 3D-Modell
24 eines Arterienbaums **26**, der unter Verwendung eines
(nicht gezeigten) Computers erzeugt wird. Information zur
Erzeugung des 3D-Modells **24** eines Arterienbaums wird
aus magnetischer Resonanz-Angiographie (MRA), compu-
terisierter tomographischer Angiographie (CTA) oder 3-di-
mensionaler (3D) angiographischer Untersuchung (angio
exam) abgeleitet. Ferner ist **28** die Stellung einer "virtuellen
Kamera" entsprechend einem Betrachtungspunkt, welcher
bei Verwendung zur Erzielung des 3D-Modells **24** ein Bild
gleich dem fluoroskopischen Bild auf **13** erzeugt. Kamera-
parameter, wie Projektionswinkel, die auf das Fluoroskop
10 bezogen sind, und Information über das Registrierungs-
oder Aufzeichnungsverfahren, sind erforderlich.

In jedem Zeitpunkt ist das computerisierte 3D-Modell in
Übereinstimmung mit dem Fluoroskop und dem Patienten.
Dies bedeutet, daß die Projektionsparameter der Röntgen-
strahlen-Konfiguration dem (nicht gezeigten) Computer be-
kannt sind, welcher das computerisierte 3D-Modell erzeugt.
Der (nicht gezeigte) Computer wird verwendet, um ein "vir-
tuelles" Röntgenstrahlenbild vom 3D-Modell zu erzeugen,
indem die Geometrieinformation für den aktuellen C-Arm
verwendet wird. Die Lage der Katheterspitze innerhalb des
3D-Modells ist ebenfalls aus einem Registrierungs- oder
Aufzeichnungsverfahren bekannt.

Wie in **Fig. 4** dargestellt, wurde der "virtuelle Kontrast"
entsprechend einer Ausführungsform der Erfindung berech-
net, indem die Blutgefäße des 3D-Modells rings um die
Spitze des Katheters unter Verwendung der gleichen Geo-
metrie, wie sie zu dem C-Arm gehört, ermittelt wurde. Kurz

gesagt bedeutet dies, daß die 3D-Information über die Blut-
gefäße verwendet wird, um ein 2D-Bild der Blutgefäße zu
erzeugen, entsprechend der Stellung des C-Arms, um zu si-
mulieren, was von dieser Stelle aus bei Verwendung eines
Kontrastmittels zu sehen wäre.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung werden die
so erzeugten **Bilder 27** der Blutgefäße dem fluoroskopi-
schen Bild überlagert. Der virtuelle Kontrast kann in einer
vorbestimmten oder künstlichen Farbe wiedergegeben wer-
den, um dem Arzt einfach evident zu machen, daß kein reel-
ler Kontrast verwendet wird. Alternativ kann der Kontrast
durch ein anderes Bildkennzeichen, wie "Blitzen" des Bil-
des oder Blinken desselben, erhalten werden. Da eine 3D-
Wiedergabe des Katheterortes erzeugt und gleichzeitig über-
lagert wird, und der reelle Katheter auf dem Fluoroskopbild
ohne Kontrastinjektion stets sichtbar ist, hat der Arzt eine
visuelle Kontrolle der Genauigkeit der Registrierung: wenn
eine Diskrepanz in der Registrierung besteht, so sollte der
Arzt ein reelles Kontrastbild verwenden, um die Daten wie-
der in Übereinstimmung zu bringen.

Fig. 5 zeigt die Komponenten der Anlage gemäß einer
Ausführungsform der Erfindung sowie deren Wechselwirk-
ung. Auf der linken Seite senden der C-Arm **30** und das
Fluoroskop **32** Bilder und Informationen über die Projektion
(Position und Orientierung) des C-Arms zum Registrie-
rungssystem **34**. Das Registrierungssystem berechnet die
Transformation zwischen dem 3D-Modell und dem C-Arm-
System. Aus dieser Transformation wird die Position der
Spitze des Katheters im 3D-Modell berechnet.

Das Wiedergabesystem **36** kann sodann eine 2D-Projek-
tion des 3D-Modells erzeugen, die das 3D-Modell in einer
"virtuellen" Fluoroskopansicht zeigt. Das 3D-Modell kann
wahlweise vollständig oder nur als ausgewählte Teile darge-
stellt werden. Beispielsweise kann es erwünscht sein, nur
den Teil des 3D-Modells von der Spitze des Katheters in
Richtung des Blutflusses zu zeigen. Dies würde dem Chirur-
gen einen Anblick ähnlich dem Anblick zeigen, der erzielt
wird, wenn das Kontrastmittel in das Blutgefäß durch den
Katheter fließt.

Erfindungsgemäß ist jedoch kein Kontrastmittel erforder-
lich. Auf dem auf der rechten Seite in **Fig. 5** gezeigten Com-
puterschirm kann der Chirurg eine Wiedergabe des 3D-Mo-
dells und einen Indikator sehen, der die Spitze des Katheters
oder, je nachdem, des Endoskops zeigt. Der Chirurg kann
entscheiden, ob eine reelle Injektion von Kontrastmittel
oder eine "virtuelle" Kontrastinjektion erforderlich ist.
Wenn eine reelle Injektion gewählt wird, wird das Bild vom
Fluoroskop **32** in **Fig. 5** zur Registrierungseinheit gesendet
und das 3D-Modell wird wieder mit dem Bild registriert.

Fig. 6 zeigt Schritte, die gemäß einer Ausführungsform
der Erfindung durchzuführen sind. Ein 3D-Modell des Blut-
gefäßbaums wird unter Ausnützung einer Segmentierung
konstruiert. Aus 3D-Angio-Daten, CTA- oder MRA-Daten
kann der Blutgefäßbaum unter Verwendung im Handel er-
hältlicher privater Systeme, wie "3D-Virtuoso", segmentiert
werden. Die angewendeten Techniken sind Schwellenbil-
dung und/oder Bereichswachstum. Die Segmentierung ist
ein Standardverfahren, das mit im Handel erhältlichen Pro-
dukten durchgeführt werden kann. Es ist ein Verfahren zur
Identifizierung der Voxels in einem volumetrischen Daten-
satz (z. B. erhalten aus MRI, CT oder 3D-Angio), die zu ei-
nem bestimmten Organ (wie den Arterien), gehören. Das Er-
gebnis der Segmentierung ist eine binäre Klassifizierung,
wobei jedes Voxel klassifiziert wird in "ist Teil des Objekts"
oder "ist nicht Teil des Objekts".

Vor der Segmentierung hat jedes Voxel einen Wert, der
durch eine physikalische Eigenschaft des Gewebes be-
stimmt wird (Dichte, Röntgenstrahlen-Absorption und

dergl. in Abhängigkeit von der Abbildungsmodalität). Nach der Segmentierung hat jedes Voxel entweder den Wert 1 (Teil des Objekts) oder 0 (nicht Teil des Objekts). Die üblichsten Segmentierungsverfahren sind Schwellenbildung und Bereichswachstum (thresholding and region growing). Bei der Schwellenbildung gibt der Benutzer einen oberen und einen unteren Schwellenwert an. Die Voxels mit einem Wert zwischen diesen Schwellenwerten werden als Teil des Objekts gewählt, alle anderen werden als nicht Teil des Objekts klassifiziert.

Beim Bereichswachstum ist eine Eingabe mehr erforderlich: zusätzlich zum unteren und oberen Schwellenwert muß eine geometrische Ortsangabe gewählt werden, von der bekannt ist, daß sie ein Teil des Objekts ist (Samenkorn). Sodann werden gemäß einem bekannten Verfahren nur Voxels mit Werten zwischen den Schwellenwerten und einer Verbindung mit diesem Samenkorn als Teil des Objekts genommen.

Eine Segmentierung kann in einem handelsüblichen Wiedergabesystem (wie 3D-Virtuoso oder Magicview) verwendet werden, um ein Bild des segmentierten Objekts zu erzeugen.

Bei der Erfindung ist eine Segmentierung von Arterien erforderlich, was hier als Segmentierungs-Blutgefäßbaum bezeichnet wird, da die Arterien im allgemeinen die Form eines Baumes besitzen, in dem sich eine Arterie in kleinere Zweige aufspaltet. Der Blutfluß ist von den größeren Gefäßen zu den kleineren Gefäßen gerichtet. Das größte Gefäß oder das Gefäß, aus dem der Blutfluß entspringt, wird als Beginn des Blutgefäßbaumes oder als die Wurzel bezeichnet.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung eines virtuellen Kontrastmittels erfordert ferner eine zusätzliche Information, welche die Lage der Spitze des Katheters und die Blutflußrichtung darstellt. Dies braucht man für die Entscheidung, welcher Teil des Blutgefäßbaumes wiederzugeben ist, wenn eine virtuelle Kontrastinjektion an einer bestimmten Stelle stattfinden soll.

Die Lage der Spitze des Katheters (toc) kann gefunden werden, indem eine binäre Segmentierung entweder eines Fluoroskopbildes ohne Kontrast oder eines Subtraktionsbildes durchgeführt wird. Bildsubtraktion ist ein häufig für die Fluoroskopie angewendetes Verfahren, bei welchem ein Bild ohne Kontrast gespeichert und später von einem mit injiziertem Kontrastmaterial erzeugten Bild subtrahiert wird, wodurch ein Subtraktionsbild erzeugt wird, bei dem beispielsweise Knochenbilder entfernt sind und dadurch Blutgefäße klarer sichtbar zurücklassen.

In den meisten Fällen ist der Katheter im Fluoroskopbild gut festgelegt, so daß eine einfache Schwellenbildung ausreicht, um die den Katheter darstellenden Pixels zu identifizieren.

In anderen Fällen, bei denen der durch die Schwellenbildung erzielte Kontrast nicht ausreicht, kann ein vorher gespeichertes Bild vom Bild mit Katheter subtrahiert werden.

Das segmentierte Bild des Katheters zeigt ein Linienbild des Katheters, welches die Bildgrenze überkreuzt und ein freies Ende besitzt. Siehe beispielsweise 20 in Fig. 3. Die toc kann im Bild als das Ende der Linie identifiziert werden, welche die Bildgrenze nicht überkreuzt und daher im Hauptteil des Bildes vorhanden ist.

Der das Bild der Katheterspitze darstellende Punkt bildet zusammen mit der aus dem Registrierungsprozess erhaltenen Information einschließlich des "Blickpunktes" und der Projektionswinkel eine gerade Linie im 3D-Raum. Die toc in 3D ist der Schnittpunkt dieser Linie mit dem 3D-Modell.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann die Flußrichtungsinformation durch Verwendung eines Bereichswachs-

tums im binär segmentierten Blutgefäßbaum erhalten werden, der an der Basis des Blutgefäßbaumes beginnt.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann der Benutzer ein Voxel an der Basis des Blutgefäßbaumes interaktiv wählen. Dieses Voxel erhält das Label 0. Alle Voxels im Blutgefäß, die diesem Voxel benachbart sind, erhalten das Label 1. Alle Voxels neben den Voxels mit dem Label n erhalten das Label $(n + 1)$. Wenn für den virtuellen Kontrast die Spitze des Katheters sich in Voxel m befindet, würde das Wiedergabesystem nur Voxels mit einem Label $\geq m$ und mit dem gleichen Voxel verbunden wiedergeben.

Beim Registrierungsverfahren gemäß den Grundsätzen der Erfindung wird das Fluoroskopbild während einer realen Kontrastinjektion mit dem 3D-Modell registriert. Da das Kontrastmittel einen größeren Teil des Gefäßbaumes füllt als der Katheter, ist die Genauigkeit der Registrierung größer.

Der Betrachtungswinkel der Fluoroskopprojektion ist aus physikalischen Installationsdaten bekannt, wie die Positionierung des Patienten im C-Arm-System, d. h. auf dem Rücken liegend oder in einer anderen Stellung. Normalerweise hat der Chirurg einen Blickpunkt für den C-Arm, der einen optimalen Blick auf ein bestimmtes Blutgefäß ergibt, vorzugsweise so gewählt, daß andere Gefäße nicht durch weitere Gefäße überdeckt sind, oder ähnliche Zweideutigkeiten.

Die Registrierung des 3-dimensionalen Modells mit den Fluoroskopbildern kann auf verschiedene Weisen gemäß den Grundsätzen der Erfindung durchgeführt werden.

Bei einem Verfahren wird eine Anzahl von vorberechneten Projektionen des 3D-Modells verwendet, welche mit den aktuellen Fluoroskopbildern verglichen werden. Es wird sodann angenommen, daß die engste Übereinstimmung die beste Registrierung ergibt. Dieses Verfahren ist an sich bekannt aus A. Schweikart et al. "Treatment planning for a radiosurgical system with general kinematics", IEEE International Conference on Robotics and Automation, Seiten 1720-1727, San Diego; Mai 1994, IEEE Computer Society Press.

Ein anderes Verfahren verwendet Bezugsmarkierungen am Patienten, die im 3D-Modell sichtbar sind, sowie aus einer optischen Nachführeinrichtung in der radiologischen Anlage, wodurch die Korrelierung für die Erzielung der Registrierung ermöglicht wird.

Noch ein anderes, bei der Erfindung anwendbares Verfahren ist die Anwendung einer Off-line-Kalibrierung des C-Arms, wie von Navab beschrieben. Solange sich die Stellung des Patienten nicht ändert, führt dies zu einem kalibrierten System, in welchem die Projektionsmatrizen des C-Arms bekannt sind. Während dies zwar möglicherweise das einfachste Verfahren für die Durchführung ist, ist es nur möglich, wenn das Modell aus einer 3D-Angio unter Verwendung des gleichen C-Arms und der gleichen Kalibrierung erhalten wurde. Dagegen arbeiten die anderen beschriebenen Verfahren bei allgemeinen Modellen einschließlich MRA und CTA.

Die Erfindung wurde zwar anhand von beispielhaften Ausführungsformen beschrieben, aber es ist dem Fachmann klar, daß verschiedene Modifizierungen und Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Gedanken der Erfindung abzuweichen, der in den folgenden Ansprüchen definiert ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil, welches die folgenden Schritte umfaßt:
Erfassen von Daten für ein 3D-Modell aus einem Ab-

bildungsverfahren;
 Segmentieren der Daten zur Erzielung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße;
 Erhalten eines ersten Verfahrensbildes des Körperteils unter Benutzung einer Strahlungsquelle und eines Bild- 5
 detektors, wobei das Verfahrensbild die Blutgefäße mit Kontrastmittelinjektion umfaßt;
 Registrieren des segmentierten 3D-Modells mit dem Verfahrensbild und Ableiten von Parametern daraus, die sich auf die Positionen des Körpersteils, der Strahlungsquelle, des Bilddetektors und des 3D-Modells be- 10
 ziehen;
 Erhalten eines zweiten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung der Strahlungsquelle und des Bilddetektors, wobei das zweite Verfahrensbild ohne Kontrastmittelinjektion erhalten wird; und 15
 Wiedergeben des 3D-Modells und Überlagern des 3D-Modells über das zweite Verfahrensbild.
 2. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 1, bei welchem das Abbildungsverfahren entweder aus magnetischem Resonanzabbilden, computerisierter Tomographie (CT) oder 3D-Angio besteht und die Verfahrensbilder entweder aus magnetischer Resonanzabbildung, computerisierter Tomographie (CT), 3D-Angio, Fluoroskopie oder Ultra- 25
 schallabbildung bestehen.
 3. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 1, bei welchem der Schritt der Segmentierung das Etikettieren der Blutflußrichtung in den Blutgefäßen umfaßt. 30
 4. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 1, bei welchem der Schritt des Wiedergebens einen Schritt des Auffindens einer Katheterspitze in dem zweiten Verfahrensbild umfaßt, welches einen Untersatz des segmentierten 3D-Modells einschließlich der Katheterspitze und der strömungsabwärts gelegenen Blutgefäßteile wiedergibt. 35
 5. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 4, bei welchem der Schritt des Auffindens der Katheterspitze eine Schwellenbildung des zweiten Verfahrensbildes zur Erzeugung eines Schwellenbildes umfaßt. 40
 6. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 5, welches den Schritt der Identifizierung der Spitze des Katheters als das Ende einer Linie umfaßt, welche die Bildgrenze nicht überkreuzt und daher im Hauptteil des Schwellenbildes anwesend ist. 45
 7. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 6, bei welchem der Schritt des Auffindens der Katheterspitze die Schritte des Auffindens der Katheterspitze im 3D-Modell durch Ableiten einer geraden Linie im 3D-Raum aus den auf die Positionen des Körperteils, der Strahlungsquelle, des Bild- 55
 detektors und des 3D-Modells und der Spitze des Katheters in dem subtrahierten Bild bezogenen Parametern umfaßt; und Feststellen des Schnittpunktes der geraden Linie mit dem 3D-Modell.
 8. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 4, bei welchem der Schritt des Auffindens der Katheterspitze folgende Schritte umfaßt: 60
 Ableiten eines subtrahierten Bildes durch Subtrahieren eines vorher gespeicherten Bildes ohne Kontrast und ohne einen Katheter aus dem zweiten Verfahrensbild mit Katheter; 65
 Schwellenbildung bei dem subtrahierten Bild; und
 Identifizieren der Spitze des Katheters in dem subtra-

hierten Bild als das Ende einer Linie, welche die Bildgrenze nicht überkreuzt und daher im Hauptteil des subtrahierten Bildes vorhanden ist.
 9. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 8, bei welchem der Schritt des Auffindens einer Katheterspitze die Schritte des Auffindens der Katheterspitze in dem 3D-Modell umfaßt, durch:
 Ableiten einer geraden Linie im 3D-Raum aus den Parametern, die sich auf die Positionen des Körperteils, der Strahlungsquelle, des Bilddetektors und des 3D-Modells sowie der Spitze des Katheters im subtrahierten Bild beziehen; und
 Feststellen des Schnittpunktes der geraden Linie mit dem 3D-Modell.
 10. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 1, bei welchem das Wiedergeben und Überlagern unter Verwendung eines visuellen Kontrastes selektiv durchgeführt wird.
 11. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 10, bei welchem der visuelle Kontrast unter Verwendung einer Kontrastfarbe durchgeführt wird.
 12. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels nach Anspruch 10, bei welchem der visuelle Kontrast unter Verwendung von Intensitätsmodulierung durchgeführt wird.
 13. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil, welches die folgenden Schritte umfaßt:
 Erfassen von Daten für ein 3D-Modell aus einem Bildverfahren;
 Segmentieren der Daten zur Erzielung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße;
 Erhalten eines ersten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung einer Strahlungsquelle und eines Bilddetektors, wobei das erste Verfahrensbild die Blutgefäße mit Kontrastmittelinjektion enthält;
 Registrieren des segmentierten 3D-Modells mit dem Verfahrensbild, und Ableiten von Parametern daraus, die sich auf die Positionen des Körpersteils, der Strahlungsquelle, des Bilddetektors und des 3D-Modells beziehen, durch Vergleichen des ersten Verfahrensbildes mit einer Anzahl von vorberechneten Projektionen des 3D-Modells;
 Erhalten eines zweiten Verfahrensbildes des Körperteils unter Verwendung der Strahlungsquelle und des Bilddetektors, wobei das zweite Verfahrensbild ohne Kontrastmittelinjektion erhalten wird;
 Wiedergeben des 3D-Modells durch Auffinden einer Katheterspitze in dem zweiten Verfahrensbild, indem ein Untersatz (subset) des segmentierten 3D-Modells einschließlich der Katheterspitze und strömungsabwärts gelegener Blutgefäßteile wiedergegeben wird; und
 Überlagern des 3D-Modells mit dem zweiten Verfahrensbild unter Verwendung eines visuellen Kontrastes.
 14. Verfahren zur Erzielung eines virtuellen Kontrastmittels für Blutgefäße in einem Körperteil für Angioskopie, welches umfaßt:
 Ableiten von Daten aus einem 3D-Modell unter Verwendung von magnetischer Resonanzabbildung, computerisierter Tomographie (CT) oder 3D-Angio;
 Segmentieren der Daten zur Erzeugung eines segmentierten 3D-Modells der Blutgefäße;
 Erzeugen eines ersten Verfahrensbildes mit einem vorhandenen Kontrastmittel;
 Registrieren des 3D-Modells mit dem ersten Verfah-

rensbild und dadurch Erzielen von "virtuellen Kamera-
parametern";
Wiedergeben des 3D-Modells; und
Überlagern des wiedergegebenen 3D-Modells mit ei-
nem zweiten Verfahrensbild ohne Kontrast, wodurch 5
ein virtueller Kontrast erzielt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

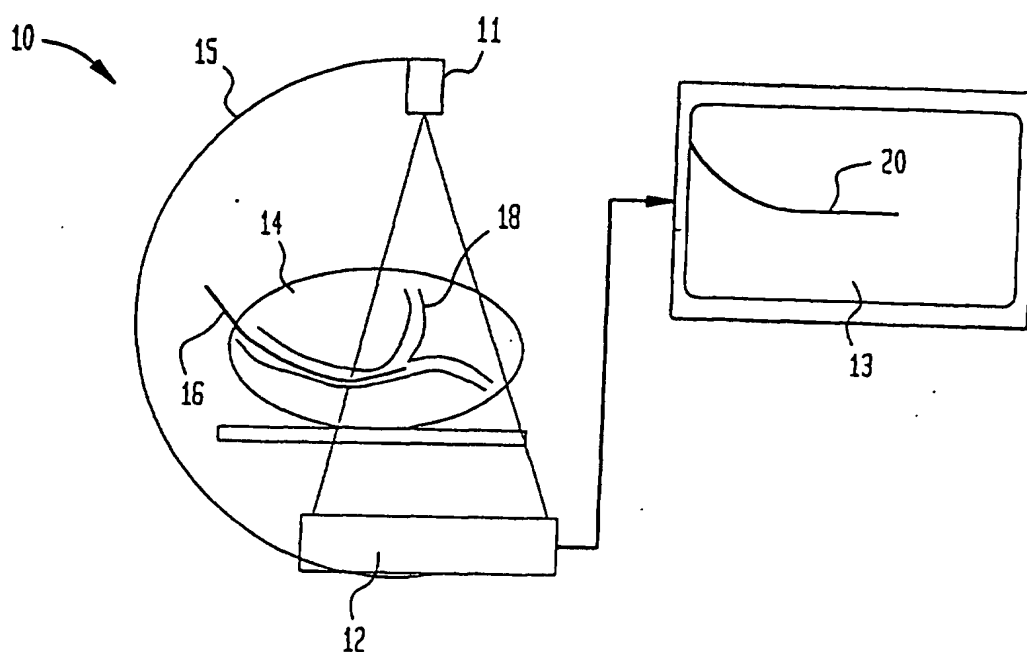


FIG. 2

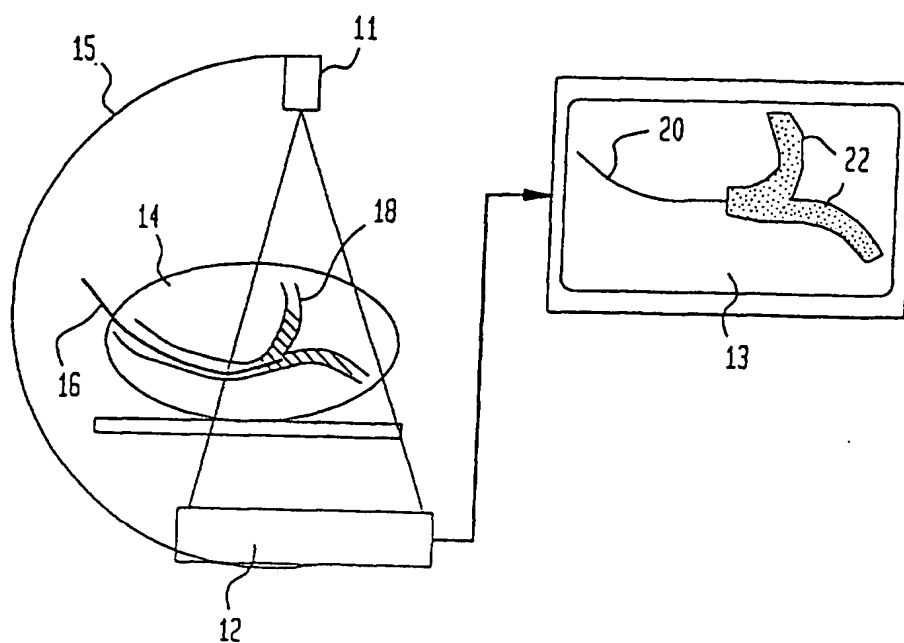


FIG. 3

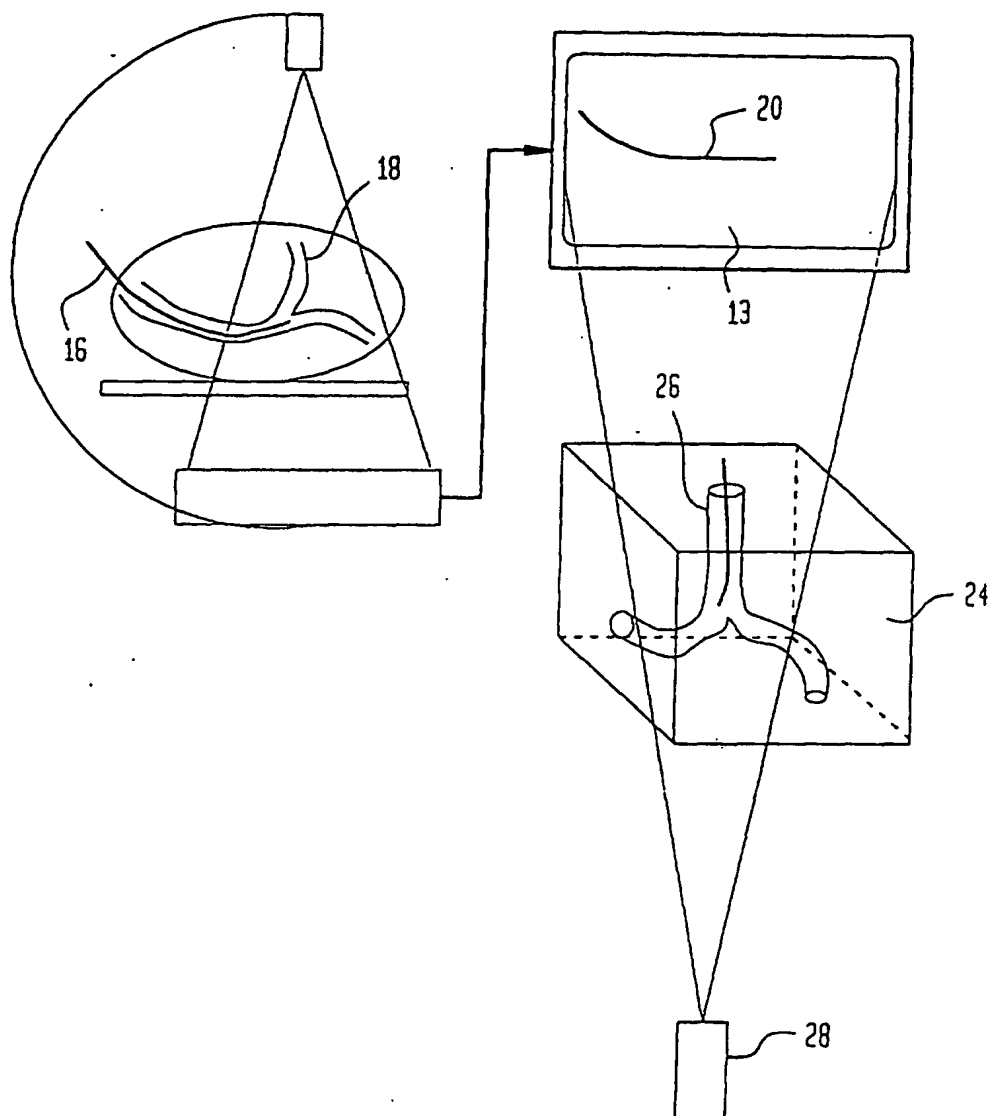


FIG. 4

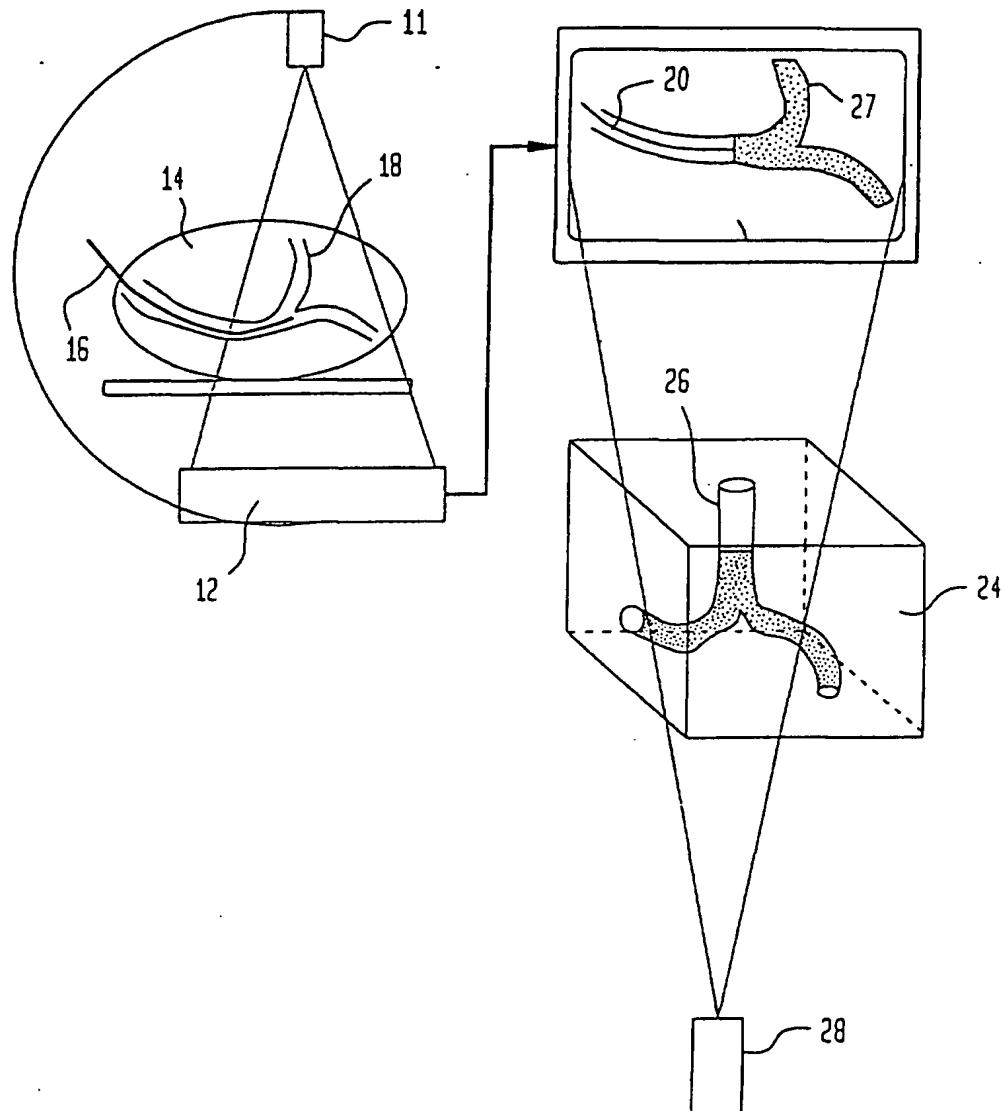


FIG. 5

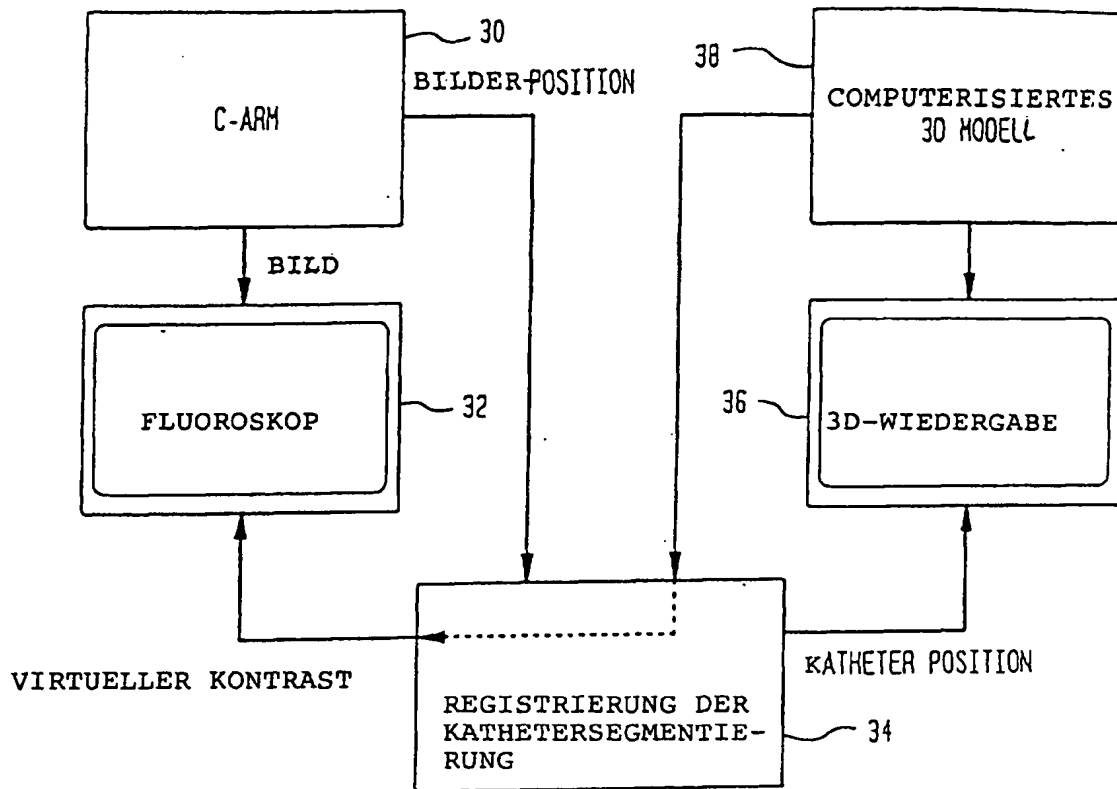


FIG. 6

